

# 从工艺流程的解读谈化学工艺建模教学\*

吴翀云

(江苏省溧水高级中学, 江苏南京 211200)

**摘要:** 模型可协助学生记忆与解释, 让学生思考视觉化, 解决问题程序化。化学建模教学包括帮助学生理解物质模型, 形成思维模型, 并在分析和解决问题时, 随着新问题的不断出现, 对原有的模型进行强化或修正, 从而得到较完整的认知模型的过程。以化学工艺流程的建模为例, 阐述了模型的建立、强化、运用和发展的过程。

**关键词:** 模型; 建模教学; 化学工艺流程; 模型资源开发

**文章编号:** 1005-6629(2018)1-0029-06

**中图分类号:** G633.8

**文献标识码:** B

## 1 化学工艺及学生学习情况

化学工艺, 即化工技术或化学生产技术, 指将原料物主要经过化学反应转变为产品的方法和过程, 以及实现这一转变的全部措施。它是以化学方法为主, 以改变物质组成与物质结构合成新物质为主的生产过程和技术。化学工艺涉及的范畴很广, 一般包括原料的选择和预处理, 生产方法的选择及方法原理, 设备的作用、结构和操作, 催化剂的选择和使用, 其他物料的影响, 操作条件的影响和选定, 流程组织, 生产控制, 产品规格和副产物的分离与利用, 资源的回收利用和对不同工艺路线和流程的技术经济评价等等<sup>[1]</sup>。

在教学中发现, 学生在解读工艺流程时存在以下几个问题: ①对考查的元素化合物知识或化学原理的遗忘; ②对不熟悉的特殊工艺目的的理

解有缺失, 在遇到新问题时, 不会从流程的实际出发去分析工艺的目的, 常常将头脑中已有的常规解答教条地照搬, 而出现文不对题、答非所问的情况; ③对于题目所提供的信息有漏用或错用的情况, 如用乙醇洗涤 CuCl 的作用还是答成常规的减少溶解损失, 而忽略了 CuCl 是不溶性的固体且容易氧化潮解而需要迅速除去水; ④文字表述不够准确, 不能从工艺自身的目的出发进行描述, 如趁热过滤的目的, 将“避免溶质析出造成损失”答成“温度高溶解度大”, 再如将“加稀硫酸除去铜粉中混有的铁粉”答成“稀硫酸与铁粉反应生成氢气”等。

## 2 化学建模教学

“化学知识的组成包括现象观察的结果与其蕴含的科学理论”, 然而学生“通常会将情境的问题加以解构, 把知识内容拆成片段来理解”<sup>[2]</sup>, 忽

\* 江苏省教育科学“十三五”规划课题“基于核心素养的高中化学建模教学的实践研究”(B-b/2016/02/53) 成果之一。

应, 则含有一CHO; 有手性碳原子, 表明碳原子上连有四个不同的原子或原子团; 一氯代物有几种、核磁共振显示几组峰及峰的面积比为多少、苯环上有几种不同环境的氢原子等等这类限制条件, 则说明需要写出的分子结构常常具有对称性。最后, 学生要注重分类意识, 可以按照异构类型寻找同分异构体。一般来说, 按照官能团异构—位置异构—碳架异构的顺序进行, 就可以有条不紊、没有遗漏地找出所有符合要求的同分异构体。

## 参考文献:

- [1] 宋心琦主编. 普通高中课程标准实验教科书·有机化学基础(选修)(第2版)[M]. 北京: 人民教育出版社, 2016:2.
- [2] 潘高峰. 速解高考有机推断题的三大方法[J]. 新高考(物理化学生物), 2009, (Z2): 53~56.
- [3] 任慧云. 有机推断的教学研究与教学设计[D]. 天津: 天津师范大学硕士学位论文, 2014.
- [4] 吴平. 高中生有机推断问题解决的信息加工研究[D]. 上海: 华东师范大学硕士学位论文, 2009.
- [5] 李金海, 曾兵芳. 2011年全国高考有机化学试题评析[J]. 教育测量与评价(理论版), 2012, (01): 56~59.
- [6] 吴晗清, 宋嫣然, 李国超. 化学知识结构与学业成绩关联的实证研究[J]. 中国教育学刊, 2014, (03): 67~70.

略了学习材料从现象到结论再上升到理论这一发展认知规律的内容编排的价值,这样建立的知识就成了无源之水,不能有效地发展成解决问题的方法;没有系统组织已经习得或正在习得的知识也是一盘散沙,容易出现记忆错误或遗忘。

图式是人脑中已有的知识经验的网络<sup>[3]</sup>,例如化学工艺流程的一般结构包括除杂、转化和产品精制等多个环节,化学工艺流程就是这多个环节形成的网络;图式也是人头脑中关于普通事件、客体与情景的一般知识结构<sup>[4]</sup>,例如实验室制备气体的装置图式一般包含气体的发生装置、除杂装置、收集装置和尾气处理装置,而实验室制备气体的操作图式则包括:搭装置,检查装置气密性,装药品,进行实验,终止实验和拆装置等步骤;图式有“概括性”,通常包含“同类事物的本质特征”<sup>[5]</sup>,图式中的知识是组块出现的,是关于某个客体或事件的整体认知。一旦发展了某个认知的图式,也就形成了对于某一实物或事件或过程或操作的认知模型。化学建模教学是图式理论在化学教学中的应用和发展。

### 2.1 化学模型

模型是通过主观意识借助实体或者虚拟表现构成客观阐述形态结构的一种表达目的的对象<sup>[6]</sup>。它是一种结构,是原型的替代物,是对原型信息的简缩、提炼,是对原型的形象化或模拟与抽象<sup>[7]</sup>。其关系如图1所示。

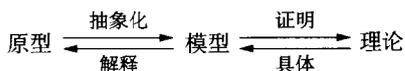


图1 原型、模型、理论的关系

化学模型可分为物质形式的模型和思维形式的模型。物质形式的模型,如甲烷的比例模型和球棍模型、炼铁高炉模型或是阳离子交换膜电解槽模型,而思维形式的模型,包括抽象概念的形象描述,如电子云模型,理论表达如盖斯定律、理想气体状态方程等,图像与符号模型如化学方程式,还包括解决某一问题的一系列行为,这些行为存在一定的先后顺序。如陌生氧化还原反应方程式的书写包括:①确定反应物和生成物,②根据得失电子守恒配平氧化剂和还原剂,氧化产物和还原产物,③根据质量守恒定律配平其余物质等,这个顺序一旦混淆,将给问题的解决带来障碍。

### 2.2 化学建模教学

学生在课堂上透过既有想法进行师生、生生间的互动,从而建构内在心智表征与外显模型,一旦形成某个知识的认知模型,那么在遇到类似的问题时,学生将会自觉地运用已有的认知模型去分析和解决问题,即“借助建构出来的模型进行学习与迁移”<sup>[8]</sup>。同时,随着新问题的不断出现,原有的认知模型或强化或修正,将已建立起来的认知模型从简略的模型发展成较完整的基本模型,其历程见图2。

化学建模教学包含两方面的含义:一是在日常教学活动中渗透化学建模的思想,将化学建模和教学内容有效整合,侧重于知识和方法的概括,并将零碎的知识点或方法融合形成有机的整体,形成化学思维模型,即“建模”的过程;二是在学生有了大量的化学思维模型储备后,在遇到化学问题时,能在有限的思维过程后找到与当前问题相匹配的模型而进行问题解决,即“用模”的过程。

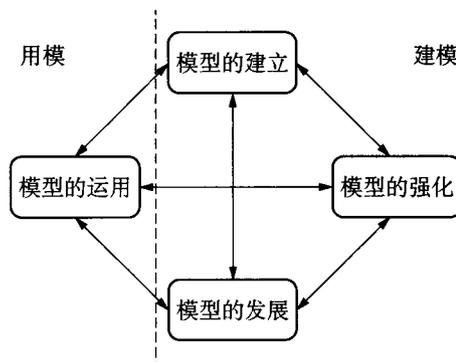


图2 建模与用模历程

### 3 化学工艺建模的尝试

#### 3.1 认识化学工艺流程

化学工艺流程由一系列单元操作设备通过管道组合成复杂系统,通过对原材料进行混合、分离、粉碎、加热等物理或化学方法,制备目标产品,使原材料增值。流程包含预处理、核心反应和产品精制,一般有如下两种表达方式,见图3和图4:



图3 流程表达方式1

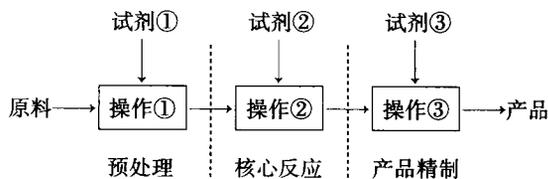


图4 流程表达方式2

在课堂教学中,让学生通过已有的工艺流程实例体会工艺流程的一般模式,为后续的仿写工艺流程打好基础。

例:卤块的主要成分是  $MgCl_2$ , 此外还含  $Fe^{3+}$ 、 $Fe^{2+}$  和  $Mn^{2+}$  等离子。若以它为原料按图5所示工艺流程进行生产,可制得轻质氧化镁。

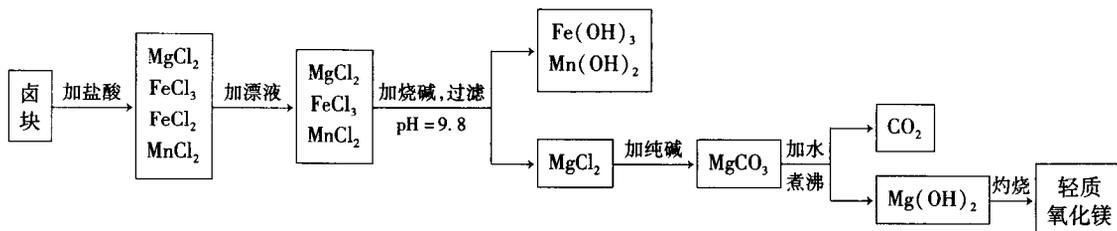


图5 卤块制氧化镁工艺流程

问题: 以上展示的是卤块制氧化镁的工艺流程,请在阅读流程的基础上说明每一步流程的目的。

设计意图: 由实验目的可以看出该工艺流程需要除去卤块中的杂质金属离子后,最终制得轻质氧化镁。该过程旨在帮助学生明确工艺流程的形式,划分工艺流程的结构,以指导学生更有效地明确流程的目的。

### 3.2 仿写化学工艺流程

化学工艺流程从认识阶段过渡到仿写阶段,让学生将对化学工艺流程的认知表达出来,作为工艺流程的模型的雏形。在仿写工艺流程时,通常可选择如粗盐的提纯等难度较小或学生已熟悉的实验方案进行改编。

案例 (2013 江苏高考第19题改编): 某研究性学习小组欲从硫铁矿烧渣(主要成分为  $Fe_2O_3$ 、 $SiO_2$ 、 $Al_2O_3$ ) 出发,制备绿矾( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ )。表1列出了相关金属离子生成氢氧化物沉淀的 pH (开始沉淀的 pH 按金属离子浓度为  $1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  计算)。

表1 金属离子生成氢氧化物沉淀的 pH

| 金属离子      | 开始沉淀的 pH | 沉淀完全的 pH |
|-----------|----------|----------|
| $Fe^{3+}$ | 1.1      | 3.2      |
| $Al^{3+}$ | 3.0      | 5.0      |
| $Fe^{2+}$ | 5.8      | 8.8      |

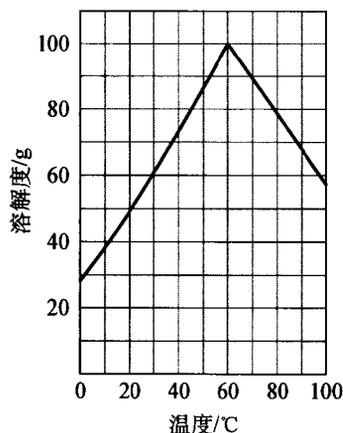


图6 绿矾溶解度曲线

问题1: 请结合图6的绿矾溶解度曲线,完成由硫铁矿烧渣制备  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  晶体的工艺流程方案(参看图7,可选用的试剂:铁粉、稀硫酸和  $NaOH$  溶液)。

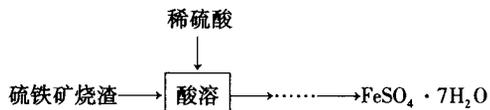


图7 流程样式

学生回答1: 见图8。

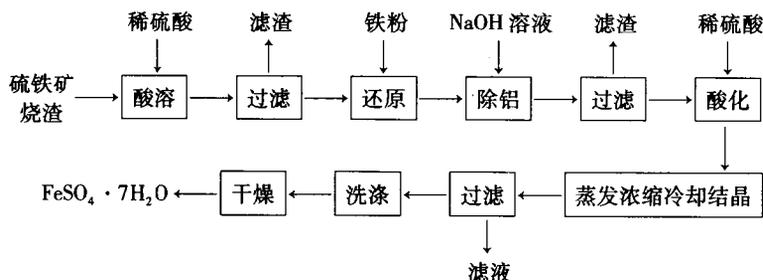


图8 学生回答结果1

学生回答2: 见图9。

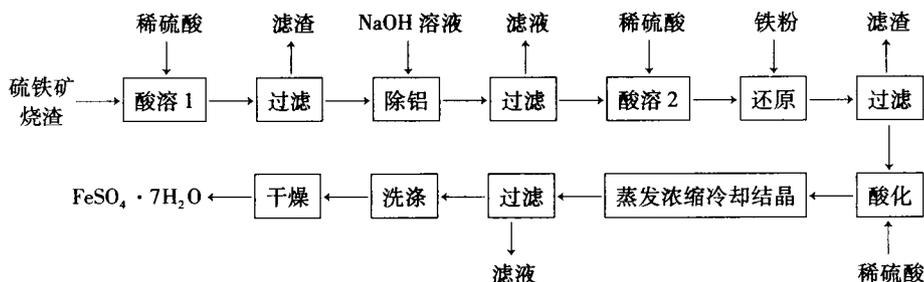


图9 学生回答结果2

设计意图: 从学生熟悉的高考题入手, 通过学生自己画出工艺流程, 能够更熟悉工艺流程的表达形式和更深刻地理解工艺流程的结构, 能够从工艺流程结构的角度实现流程读取上的初步建模。

### 3.3 建立化学工艺流程模型

学生对化学工艺流程模型的认识包括: ①工艺流程的读取程序模型, 如先关注化学变化, 后分析物理变化; ②对化学工艺的认知模型, 如控制pH除去杂质金属离子, 加快反应速率的一般措施等; ③工艺流程设计的一般原则, 如经济性、简约性以及绿色化等。在建立化学工艺流程模型时, 需要在课堂中将以上几个方面的模型不断渗透, 以帮助学生建立模型。

追问1: 答案1的流程中包含多个物理和化学变化过程, 你能找出其中的化学变化, 并写出其离子方程式吗?

学生回答: 酸溶:  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{H}^+ \rightleftharpoons 2\text{Fe}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O}$   $\text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{H}^+ \rightleftharpoons 2\text{Al}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O}$ ; 还原:  $\text{Fe} + 2\text{Fe}^{3+} \rightleftharpoons 3\text{Fe}^{2+}$ ; 除铝:  $\text{Al}^{3+} + 3\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow$

设计意图: 通过问题的形式帮助学生建立阅读化学工艺流程的方法, 即首先关注化学变化的部分并理解化学反应以明确流程的基本框架。

追问2: 能否将上述答案1中的“除铝”和“还原”两步骤交换?

学生回答: 不能, 因为  $\text{Fe}^{3+}$  比  $\text{Al}^{3+}$  先沉淀。

设计意图: 让学生体会将  $\text{Fe}^{3+}$  转化为  $\text{Fe}^{2+}$ , 不仅满足了生成  $\text{Fe}^{2+}$  的需要, 还达到了除去铝元素的目的, 初步建立通过控制pH而达到沉淀某些金属离子的模型。

追问3: 以上两种流程均可实现转化目的, 哪一种方案更好, 为什么? (提示: 评价实验方案一

般从以下几个方面进行分析: ①是否符合实验原理, 能否达到实验目的; ②操作是否简单易行; ③试剂、原料的用量及成本; ④是否有利于环境保护; ⑤是否安全可靠)

学生回答: 第一种方案更好, 因为该过程步骤少, 操作简单, 与第二种方案相比, 稀硫酸和NaOH溶液的用量均较少, 成本较低。

设计意图: 人们在不断地分析、总结的过程中, 总将自己的经验进行抽象, 逐渐形成认知模型。为了把握这一自然趋势, 通过设计化学工艺的评价来提高学生形成和应用认知模型的有效性。随着学生越来越熟练地从流程本身出发去考虑问题, 在从流程的目的出发对工艺进行的评价, 实现从认识流程到理解流程再到评价流程这一过程中, 学生需要不断主动思考, 强化认知模型, 而非走马观花、浮于形式。

问题2: 为了使答案1方案更快更好地完成转化, 你可采取哪些措施?

学生回答: 为加快酸溶的速度, 可采取以下措施: ①粉碎硫铁矿烧渣, 增大接触面积; ②适当增大稀硫酸的浓度; ③适当加热。为提高还原的效率, 可加入过量铁粉充分搅拌, 既可加快反应速率又可提高  $\text{Fe}^{3+}$  的转化率。为提高除铝的效率, 可控制溶液的pH, 使  $\text{Al}^{3+}$  完全沉淀又不使  $\text{Fe}^{2+}$  沉淀下来。为了减小  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  晶体的溶解损失, 可采取以下措施: ①加热浓缩得到  $60^\circ\text{C}$  的饱和溶液再冷却至  $0^\circ\text{C}$  结晶; ②冰水洗涤或乙醇洗涤; ③在冷却后的溶液中加入适量乙醇, 以降低  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  晶体的溶解度。为了防止  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  晶体失去结晶水, 可采取以下措施: ①低温干燥; ②利用乙醇洗涤晶体后带走水分而达到干燥的目的。

设计意图：引导学生从化学工艺方面进行建模，从提高转化率、提高产率等多方面进行建模。

### 3.4 运用和发展化学工艺流程模型

在运用和发展化学工艺流程阶段，一般可通过指导学生确定相似操作的不同目的来确定已有化学工艺模型的不同应用范围，消除既有模型带来的应用误区。

问题3：乙醇在化学工艺流程中有广泛的应用，你能说出乙醇在以下工艺流程中的作用吗？

① 从海带中提取碘的部分工艺流程（见图10）中用适量酒精润湿海带。

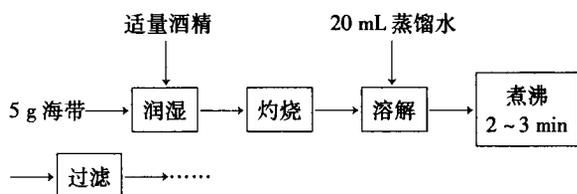


图10 海带中提取碘

② 已知  $\text{MnSO}_4$  的溶解度如图11所示，用乙醇洗涤从溶液中过滤出的  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  固体。

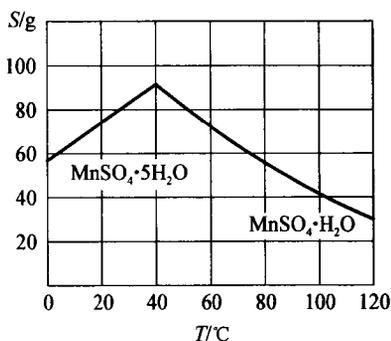


图11  $\text{MnSO}_4$  的溶解度

③ 用乙醇洗涤从  $\text{CuCl}$  固体（已知  $\text{CuCl}$  微溶于水，不溶于稀酸，可溶于  $\text{Cl}^-$  浓度较大的体系，在潮湿空气中易水解氧化）。

④ 实验室得到  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  时，在深蓝色溶液中加入极性较小的溶剂乙醇后，析出深蓝色晶体  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 。

学生回答：① 用酒精润湿海带有有助于海带灼烧充分，完全灰化。

② 减小  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  的溶解损失、迅速除去晶体表面的水防止其因温度降低而与表面的水形成  $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 。

③ 迅速除去晶体表面的水，防止  $\text{CuCl}$  水解氧化。

④ 降低  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  的溶解度，促进其结晶析出。

设计意图：结合几个乙醇在工艺中的应用实例，将乙醇的作用归纳为以下几点：① 洗去晶体表面的杂质；② 减少溶解损失；③ 快速干燥；④ 除去水，防止与水发生反应。

这样，在已有的洗涤模型基础上，可加以对比和整合，形成不同模型的应用范围，见图12。可见，溶解性小的物质，乙醇降低溶解度的作用就不大，而稳定性差的物质，乙醇的除水功能就尤为重要，体现在水本身与待洗涤物发生反应及干燥过程中导致结晶水的脱水等不利的影响。

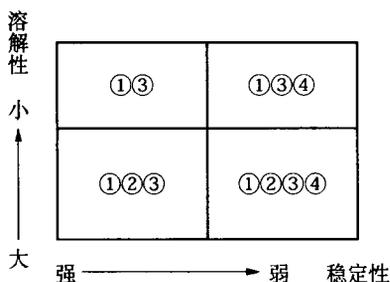


图12 乙醇洗涤的作用

上述几个工艺中都用到乙醇，然而所起的作用不同，无论是工艺目的的分析还是合适工艺的选用，其核心都是从工艺自身的矛盾出发去分析问题，见图13。

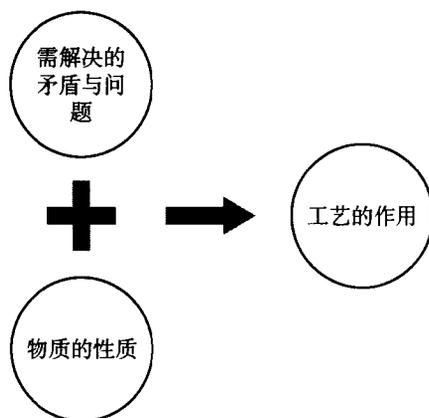


图13 工艺流程的思维范式模型

同样，在化学工艺流程中，无论是预处理、核心反应还是产品精制环节，都包含了工艺的选择和试剂的选择两方面，而这些工艺在不同的环节

的不同作用可作以下归纳,见图 14。

在建模教学中,要注意引导学生形成从物质或流程本身出发去分析问题的思维模式,切不可脱离实际问题谈模型,一切原料、生产方法、设备或操作条件的选择都是基于具体问题的分析,即所有模型的建立都是有条件的。这样,一旦建立了某一工艺流程的模型,就把流程中涉及的物质的性质、设备或装置的使用以及副产物的分离利用、资源的回收等问题有机地结合起来,各部分知识交互运作,避免知识的遗忘和模型的错误匹配,形成知识的“整合效应”。

#### 4 思考

模型可协助学生记忆与解释,让学生思考视觉化。模型一旦形成就具有相当的稳定性,因此,

在帮助学生建模时必须充分考虑模型的科学性和适用性,不可错建、错用或滥用;一旦匹配了模型,就可引起新信息的加工,如理解熔融态水(即液态水)可溶解固态的 NaCl 就能理解熔融态的冰晶石可溶解固态的氧化铝,一旦意识到熔融的冰晶石溶解氧化铝和液态水溶解氯化钠是类似的,则必然会在原有助熔剂的基础上形成新的理解,并将原有分散的知识连成网络、形成系统。类似地,电解  $\text{CuCl}_2$  溶液时,水也可看作  $\text{CuCl}_2$  的助熔剂;在建模时需要遵循学生的认知规律,一般先建立事实性的模型,再建立解释性模型,如电解饱和和食盐水问题中,先建立阳离子交换膜电解槽模型,再建立用饱和的食盐水以及阴极区通入稀氢氧化钠等化学工艺的意图。

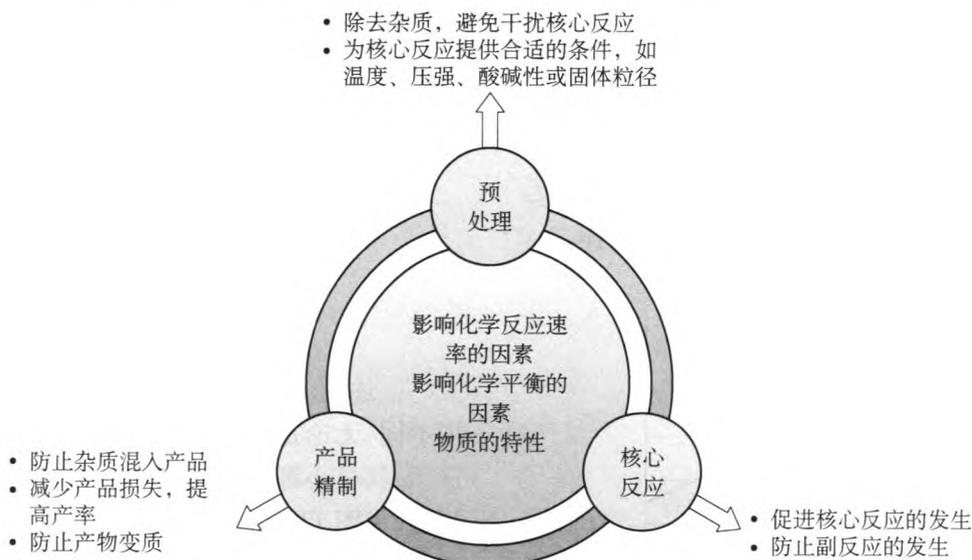


图 14 工艺和试剂的选择在不同环节的不同作用

教学的目的是帮助学习<sup>[9]</sup>,我们所提出的化学建模教学,将建模素材按照由简单到复杂,考虑的因素按由一元到多元的顺序逐渐展现在学生面前,使得学生在逐步解决问题的过程中,形成解决问题的一般模式,以促进有目的的学习和缩短达成建模教学目标所需要的时间。

#### 参考文献:

[1] [http://baike.baidu.com/link?url=hnx41liHmqKxBJttuQQ97XN99xvxl7hI63reV3YUw66jUIDIXnGCjB6BQ5hFE638CsKdVVEK0VnKev4f01R-FQal0mVwE3bHxHaihixv006\\_BQU01\\_e6JCXDYlgYmD0z](http://baike.baidu.com/link?url=hnx41liHmqKxBJttuQQ97XN99xvxl7hI63reV3YUw66jUIDIXnGCjB6BQ5hFE638CsKdVVEK0VnKev4f01R-FQal0mVwE3bHxHaihixv006_BQU01_e6JCXDYlgYmD0z).

[2][8] 邱美虹,钟建坪.模型观点在化学教科书中的角

色与对化学教学之启示[J].化学教学,2014,(1):3~6.

[3] [http://baike.baidu.com/link?url=vFu8bnJFwgYqMsBTHtrXUylraH6\\_Ae3fRn48LwW9gNII1x8f\\_bbbYYIj9go\\_ockoUzfF4d2NwRW0TwOTyDByOo-uXM0KUUb7eZs\\_pH49mBK](http://baike.baidu.com/link?url=vFu8bnJFwgYqMsBTHtrXUylraH6_Ae3fRn48LwW9gNII1x8f_bbbYYIj9go_ockoUzfF4d2NwRW0TwOTyDByOo-uXM0KUUb7eZs_pH49mBK).

[4][5] 皮连生.认知心理学[M].上海:上海教育出版社,2011:87~88.

[6] [http://baike.baidu.com/link?url=ZZbZP32mGYH2uKGLyyGtfA7GdnoIYPQ9cQc\\_TX3rO3sVK2XGAiPz0SUTtOAsG\\_GU8CV4BFESPsxpSTbxEZMTU4q28SyET9IX\\_ensLWxEjMC](http://baike.baidu.com/link?url=ZZbZP32mGYH2uKGLyyGtfA7GdnoIYPQ9cQc_TX3rO3sVK2XGAiPz0SUTtOAsG_GU8CV4BFESPsxpSTbxEZMTU4q28SyET9IX_ensLWxEjMC).

[7] 李明振.数学建模的认知机制及其教学策略研究[D].重庆:西南大学博士学位论文,2007.

[9] R·M·加涅等.教学设计原理[M].上海:华东师范大学出版社,2007:3.